

10/520 357

PCT/EP 03/07893

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

PRIORITY DOCUMENT

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 09 OCT 2003

WIPO PCT

Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 102 33 057.3

Anmeldetag: 19. Juli 2002

Anmelder/Inhaber: CeramTec AG Innovative Ceramic Engineering,
Plochingen/DE

Bezeichnung: Außenelektrode an einem piezokeramischen Viel-
schichtaktor

IPC: H 02 N 2/04

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 25. Juli 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Außenelektrode an einem piezokeramischen Vielschichtaktor

Die Erfindung betrifft eine Außenelektrode an einem piezokeramischen Vielschichtaktor.

5 Piezokeramische Vielschichtaktoren werden als Monolithen hergestellt, das heißt, der aktive Werkstoff, auf dem vor dem Sintern durch ein Siebdruckverfahren Innenelektroden aufgetragen werden, wird als sogenannte Grünfolie zu einem Stapel aufeinandergelegt, der zu einem Grünkörper verpresst wird. Das Verpressen des Grünkörpers wird in der Regel durch Laminieren unter Druck- und Temperatureinwirkung in Laminierformen durchgeführt.

10 In Figur 1 ist ein solcherart hergestellter piezokeramischer Vielschichtaktor 1 stark vergrößert schematisch dargestellt. Der Aktor besteht aus gestapelten dünnen Schichten 2 piezoelektrisch aktiven Werkstoffs, beispielsweise Blei-Zirkonat-Titanat (PZT), mit dazwischen angeordneten leitfähigen Innenelektroden 3, die alternierend an die Aktoroberfläche geführt werden. Außenelektroden 4, 5
15 verbinden die Innenelektroden 3. Dadurch werden die Innenelektroden 3 elektrisch parallel geschaltet und zu zwei Gruppen zusammengefasst. Die beiden Außenelektroden 4, 5 sind die Anschlusspole des Aktors 1. Sie sind über die Anschlüsse 6 mit einer hier nicht dargestellten Spannungsquelle verbunden. Wird über die Anschlüsse 6 eine elektrische Spannung an die Außenelektroden
20 4, 5 gelegt, wird diese auf alle Innenelektroden 3 parallel übertragen und verursacht ein elektrisches Feld in allen Schichten 2 des aktiven Werkstoffs, der sich dadurch mechanisch verformt. Die Summe aller dieser mechanischen Verformungen steht an der Endfläche des Kopfbereichs 7 sowie an der Endfläche des Fußbereichs 8 des Vielschichtaktors 1 als nutzbare Dehnung
25 und/oder Kraft 9 zur Verfügung.

Die Figur 2 zeigt einen Schnitt durch eine Außenelektrode 4 und die Oberfläche eines piezokeramischen Vielschichtaktors 1 nach dem Stand der Technik. Auf die zu einem Stapel gepressten dünnen Schichten 2 des piezoelektrisch aktiven

- 2 -

Werkstoffs wird im Bereich der an die Oberfläche 10 des Vielschichtaktors 1 herausgeführten Innenelektroden 3, beispielsweise durch galvanische Verfahren oder Siebdruck von Metallpaste, eine Grundmetallisierung 11 zur Verbindung der gleichgepolten Innenelektroden 3 aufgebracht. Diese Grundmetallisierung 11 wird durch eine weitere Schicht aus einem metallischen Werkstoff verstärkt, beispielsweise durch ein strukturiertes Blech oder ein Drahtnetz als dreidimensional strukturierte Elektrode 12, wie sie aus der EP 0 844 678 A1 bekannt ist. Die Verbindung der dreidimensional strukturierten Elektrode 12 mit der Grundmetallisierung 11 erfolgt mittels einer Verbindungsschicht 13, in der Regel einer Lotschicht. An die dreidimensional strukturierte Elektrode 12 wird mittels einer Lötperle 18 der elektrische Anschlussdraht 6 gelötet.

Bei Außenelektroden auf der Oberfläche 10 eines Aktors 1, die wie beschrieben aufgebaut sind, wirken während des Betriebes auf den inaktiven Bereich, den Isolierbereich 14, der unter der Grundmetallisierung 11 liegt, starke Zugspannungen. Da dieser Isolierbereich 14 zusammen mit der Grundmetallisierung 11 und der Verbindungsschicht 13 eine homogene Einheit bildet, versagt diese beim Überschreiten der Zugfestigkeit des schwächsten Gliedes und es bilden sich Risse. Der dargestellte Rissverlauf tritt nach etwa 10^6 Belastungszyklen auf. Aufgrund der auftretenden Spannungen verlaufen die Risse 15 in der Regel von der spröden und wenig zugfesten Grundmetallisierung 11 in den Isolierbereich 14 und werden dort von Bereichen mit hohen Zugspannungen eingefangen, bevorzugt an den Elektrodenspitzen 16 der nicht die Grundmetallisierung 11 berührenden Elektroden 3, oder sie beginnen in den Bereichen maximaler Zugspannung an den Elektrodenspitzen 16 und verlaufen in Richtung der Grundmetallisierung 11. Die Ausbreitung eines Risses 17 entlang einer die Grundmetallisierung 11 berührenden Innenelektrode 3 ist als unkritisch einzustufen, da ein solcher Rissverlauf die Funktion des Aktors nicht beeinträchtigt. Wird die Grundmetallisierung 11 durch einen Riss durchtrennt, wirkt die elastische, dreidimensional strukturierte Elektrode 12 als elektrische Brücke, so dass der Riss ohne Einfluss auf die Eigenschaften oder die

Lebensdauer des Aktors 1 bleibt. Risse 15 dagegen, die unkontrolliert durch den Isolierbereich 14 verlaufen, sind sehr kritisch, da sie den Isolationsabstand verringern und die Wahrscheinlichkeit eines Aktorausfalls durch Überschlüge stark erhöhen.

- 5 Zu Problemen führen die solcher Art aufgebauten Elektroden allerdings beim Anschließen einer leitenden Verbindung, über welche die elektrische Spannung zugeführt werden soll.

- 10 Nach dem Stand der Technik wird ein Draht 6 an die dreidimensional strukturierte Elektrode 12 gelötet oder geschweißt, wie es in Fig. 2 dargestellt ist. Durch das Löten oder die Schweißung wird die dreidimensional strukturierte Elektrode 12 jedoch versteift und verliert somit am Löt- oder Schweißpunkt 18 die Elastizität. Im Betrieb treten dann unterhalb dieser Löt- oder Schweißpunkte 18 mechanische Scherspannungen auf, da sich der darüber liegende Elektrodenbereich nicht mehr mit ausdehnt. Dies führt nach einigen Millionen Betriebszyklen zum Ablösen der Metallelektrode samt Grundmetallisierung und
15 dadurch zum Ausfall des Bauteils.

- 20 Aus der DE 100 26 005 A1 ist es bekannt, dass die dreidimensional strukturierte Elektrode über den Aktor übersteht und dort, gegebenenfalls an die umgefaltete oder gerollte Elektrode, der elektrische Kontakt angelötet wird. Die überstehenden Enden sind durch einen Schrumpfschlauch isoliert. Diese Art des Anschlusses ist aufwändig und führt zu einer kompliziert aufgebauten Außenelektrode. An den Knickstellen der Elektrode können Kerbwirkungen auftreten.

- 25 Aus der DE 199 09 452 C1 ist es bekannt, an einer Seite des Aktors, beispielsweise am Fuß, einen piezoelektrisch nicht aktiven Bereich vorzusehen und in diesem Bereich den elektrischen Kontakt anzubringen. Der passive Fuß bewirkt eine deutlich verringerte Steifigkeit und Ausdehnung bei gleicher

Baulänge des Bauteils, weil der passive Fuß wie eine steife Feder wirkt und den aktiven Bereich verkürzt.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, durch Gestaltung der Elektroden den Anschluss der Spannungszuführung an die Außenelektroden zu verbessern.

- 5 Die Lösung der Aufgabe erfolgt dadurch, dass die Außenelektrode aus abwechselnd übereinander angeordneten Schichten leitender und nicht leitender Werkstoffe besteht, dass von den beiden außen liegenden Schichten aus leitenden Werkstoffen die eine mit der Grundmetallisierung des Aktors verbunden ist und die andere mit der Zuleitung für die Spannung und dass die Schichten aus den leitenden Werkstoffen leitend miteinander verbunden sind.

- 10
15 Durch die abwechselnd übereinander angeordneten Schichten leitender und nicht leitender Werkstoffe werden die Schichten der leitenden Werkstoffe mechanisch voneinander entkoppelt. Die elektrische Verbindung miteinander wird gesondert hergestellt oder über eine Faltung einer durchgehenden Folie als leitender Werkstoff erhalten. Die untere, mit der Grundmetallisierung verlötete leitende Schicht kann sich innerhalb bestimmter Grenzen unabhängig von den oberen Schichten bewegen.

- 20 Eine angelötete oder angeschweißte elektrische Kontaktierung ist nur mit der obersten leitenden Schicht verbunden. Dadurch wird ein Durchlöten der Schicht verhindert. Die Kontaktierung des Anschlussdrahtes an die äußere leitende Schicht der Außenelektrode wirkt sich nicht mehr versteifend auf die Elektrode aus. Die über die Grundmetallisierung auf die Außenelektrode wirkenden Kräfte werden aufgrund des Schichtaufbaus in vorteilhafter Weise so gedämpft, dass sie keine Auswirkungen auf die Anschlussstelle haben.

- 25 An Aktoren mit erfindungsgemäßen Außenelektroden können elektrische Kontaktierungen an jeder Stelle der Außenelektrode angebracht werden, ohne dass dies einen Einfluss auf die Lebensdauer oder sonstige Eigenschaften des

Aktors hat. Dadurch ist es möglich kompakte Aktormodule ohne aufwendige oder störende Schutzmaßnahmen herzustellen, wie sie aus dem Stand der Technik bekannt sind.

- 5 Eine erfindungsgemäß aufgebaute Außenelektrode besteht aus mindestens zwei Lagen eines leitenden Werkstoffs und einer dazwischen angeordneten Lage eines nicht leitenden Werkstoffs.

- 10 Der leitende Werkstoff kann aus Metallfolien bestehen, die sich aufgrund ihrer geringen Dicke leicht verarbeiten lassen. Die Dicke der Folien liegt etwa zwischen 30 μm und 200 μm , vorzugsweise zwischen 50 μm und 100 μm . Die Folien können auch in sich strukturiert sein, beispielsweise durch eine Prägung. Dadurch kann ihre Gesamtdicke bis auf das dreifache der Foliendicke anwachsen.

- 15 Die Schichten der leitenden Werkstoffe können auch in sich dreidimensional strukturiert sein. Es sind dann keine massive Schichten, sondern sie bestehen aus einem Metallgewebe oder -gewirk, aus einem Netz oder aus Metallschaum.

Die Gewebe, Gewirke oder Netze aus Metalldrähten haben eine Dicke von etwa 100 μm bis zu 200 μm . Die Maschenweite der Gewirke oder Netze liegt zwischen etwa 100 μm und 200 μm bei Drahtdurchmessern zwischen etwa 50 μm und 100 μm .

- 20 Die Schichten aus nicht leitendem Werkstoff bestehen aus einem elastischen Kunststoff, vorzugsweise einem thermoplastischen Kunststoff wie Polytetrafluorethylen (Teflon) oder Polyimid. Die Schichten sind Folien mit einer Dicke von etwa 10 μm bis zu etwa 100 μm .

- 25 Der leitende Werkstoff einer Schicht kann auch mit dem nicht leitenden Werkstoff einer Schicht beschichtet sein. Das können beispielsweise einseitig mit

Kunststoff beschichtete Folien sein. Diese lassen sich beispielsweise durch Falten zu einer erfindungsgemäßen Außenelektrode gestalten.

Die einzelnen Schichten der leitenden Werkstoffe können auch aus unterschiedlichen metallischen Werkstoffen bestehen. So ist es beispielsweise möglich, den metallischen Werkstoff mindestens der Schicht, die auf den 5 Aktorwerkstoff gelötet ist, so zu wählen, dass er einem dem keramischen Werkstoff des Aktors angepassten Wärmeausdehnungskoeffizienten besitzt.

Um die leitenden Verbindungen zwischen den Schichten aus den metallischen Werkstoffen herzustellen, sind diese Schichten durchkontaktiert oder 10 umkontaktiert. Dazu sind die Schichten beiderseits ihrer Längsseiten leitend miteinander verbunden, beispielsweise durch Verlöten der überstehenden Seiten.

Weiterhin ist es möglich, einen leitenden Werkstoff, vorzugsweise in Form einer Folie oder eines Gewebes, mäanderförmig oder spiralgig zu falten, so dass der 15 nicht leitende Werkstoff jeweils als Schicht zwischen den Falten liegt. Dadurch wird folgender Effekt erzielt: Durch die Unterbrechung der Lagen der Folie oder des Gewebes mit Kunststofflagen wird sichergestellt, dass eine angelötete oder angeschweißte elektrische Kontaktierung nur mit der oberen leitenden Schicht verbunden ist. Dadurch wird ein Durchlöten und Versteifen der Schichten 20 verhindert.

Im Folgenden wird die Herstellung eines erfindungsgemäßen Aktors beschrieben. Eine niedrig sinternde Piezokeramik nach DE 198 40 488 wird mit einem organischen Bindersystem als 125 µm dicke Folie präpariert. Auf diese Folie wird Innenelektrodenpaste aus Silber-Palladium Pulver in 25 Gewichtsverhältnis 70/30 und einem geeigneten Bindersystem mittels Siebdruck aufgebracht. Eine Vielzahl derartiger Folien wird gestapelt und zu einem Laminat verpresst. Das Laminat wird zu einzelnen, stabförmigen Aktoren zertrennt, diese

werden bei ca. 400°C pyrolysiert und bei ca. 1100 °C gesintert. Anschließend werden die Aktorgrundkörper an allen Seiten mechanisch bearbeitet.

Die Grundmetallisierung aus z.B. einer geeigneten Silber-Palladium Terminierungspaste wird mittels eines Siebdruck/Einbrennprozesses aufgebracht

- 5 Eine erfindungsgemäße, strukturierte, gefaltete Außenelektrode wird auf diese Grundmetallisierung aufgelötet.

- Die elektrische Verbindung kann nun durch z. B. Löten oder Schweißen angebracht werden. Dieser Arbeitsgang kann auch vorgezogen werden, z.B. indem man an die gefaltete Elektrode vor dem Auflöten auf den Aktor einen Kontaktstift anbringt. Es ist auch möglich, die Kontaktierung erst nach dem Lackieren anzubringen, wobei dann der Löt- oder Schweißbereich in der Regel lackfrei gehalten werden muss. Die Aktoren werden anschließend durch eine Lackschicht geschützt. Die Aktoren werden abschließend polarisiert und elektrisch gemessen.
- 10

- 15 Anhand von Ausführungsbeispielen wird die Erfindung näher erläutert. Es zeigen:

Figur 1 schematisch den Aufbau eines monolithischen Vielschichtaktors nach dem Stand der Technik,

- Figur 2 einen Ausschnitt aus dem Aktor mit den typischen Rissen, die sich nach ca. 10^6 Belastungszyklen einstellen.
- 20

Figur 3 einen Aktor mit einer gefalteten Metallnetzelektrode nach dem Stand der Technik,

Figur 4 einen Aktor mit einer erfindungsgemäßen einfach gefalteten Metallnetzelektrode und einer Kunststoffeinlage,

Figur 5 einen Aktor mit einer erfindungsgemäßen doppelt gefalteten Metallnetzelektrode und zwei Kunststoffeinlagen und

Figur 6 einen Aktor mit einer erfindungsgemäßen einfach gefalteten Metallnetzelektrode und einer Kunststoffeinlage und angeschweißten
5 Anschlussstiften.

Anhand von vier Ausführungsbeispielen wird das Herstellen der erfindungsgemäßen Außenelektroden beschrieben.

Wie oben ausgeführt werden Aktorgrundkörper 1 der Abmessung $10 \times 10 \text{ mm}^2$ (Grundfläche) und 30 mm Länge präpariert. Die Dicke einer Keramikeinzellage 2 beträgt nach dem Sintern $100 \text{ }\mu\text{m}$, die Dicke einer Innenmetallisierungsschicht 2 μm . Die Grundmetallisierung 3 wird mit einer handelsüblichen Terminierungspaste per Siebdruck erzeugt, und bei $750 \text{ }^\circ\text{C}$ an Luft 30 Minuten lang eingebrannt. Die Schichtdicke nach dem Einbrennen beträgt $10 - 12 \text{ }\mu\text{m}$. Diese Aktorgrundkörper werden wie folgt weiterbehandelt:

15 Beispiel 1: Nach Fig. 3 wird ein Drahtgewebe 19 aus Kupferbronzedrähten (CuSn6) mit Drahtdurchmesser $0,1 \text{ mm}$ und Maschenweite $0,2 \text{ mm}$ galvanisch $20 \text{ }\mu\text{m}$ dick mit Lot (SnPb10) beschichtet. Aus dem Gewebe wird in einem Winkel von 45° zur Richtung der Kettfäden ein 8 mm breiter und 29 mm langer Streifen herausgeschnitten. Dieser Streifen wird längs so gefaltet, dass die beiden
20 Ränder mittig zu liegen kommen.

Außenelektroden 19, 20 dieser Art werden auf die Grundmetallisierung des Aktorgrundkörpers z. B. mit einem Reflowlötverfahren aufgelötet. Auf die aufgelöteten Außenelektroden 19 werden in der Nähe einer Aktorstimfläche zwei Lötunkte 18 für die Anschlussdrähte 6 aufgebracht. Diese Vorgehensweise
25 stellt den Stand der Technik dar. Die Lötzeit beträgt 10 Minuten bei $240 \text{ }^\circ\text{C}$.

Beispiel 2: Nach Fig. 4 wird ein Drahtgewebe 19 aus Kupferbronzedrähten (CuSn6) mit Drahtdurchmesser 0,1 mm und Maschenweite 0,2 mm galvanisch 20 µm dick mit Lot (SnPb10) beschichtet. Aus dem Gewebe wird in einem Winkel von 45° zur Richtung der Kettfäden ein 8 mm breiter und 29 mm langer Streifen
5 herausgeschnitten. Auf diesen Streifen wird mittig ein Streifen 22 mit den Abmessungen 3,5 x 29 mm aus PTFE-Polymer gelegt. Um diesen wird der Gewebestreifen 19 längs so gefaltet, dass die beiden Ränder mittig zu liegen kommen.

Außenelektroden dieser Art werden auf die Grundmetallisierung des Aktorgrundkörpers z. B. mit einem Reflowlötverfahren aufgelötet. Auf die aufgelöteten Außenelektroden 23, 24 werden in der Nähe einer Aktorstirnfläche zwei Lötunkte 18 für die Anschlussdrähte 6 aufgebracht. Die Lötzeit beträgt 10 Minuten bei 240 °C.

Beispiel 3: Nach Fig. 5 wird ein Drahtgewebe 19 aus Kupferbronzedrähten (CuSn6) mit Drahtdurchmesser 0,1 mm und Maschenweite 0,2 mm galvanisch
15 20 µm dick mit Lot (SnPb10) beschichtet. Aus dem Gewebe wird in einem Winkel von 45° zur Richtung der Kettfäden ein 16 mm breiter und 29 mm langer Streifen herausgeschnitten. Auf diesen Streifen wird außermittig ein Streifen mit den Abmessungen 3,5 x 29 mm aus PTFE Polymer gelegt 22. Um diesen wird der Gewebestreifen 19 längs gefaltet. Abermals wird ein PTFE-Streifen 25 aufgelegt und der Gewebestreifen spiralig herumgefaltet.

Außenelektroden dieser Art werden auf die Grundmetallisierung des Aktorgrundkörpers z.B. mit einem Reflowlötverfahren aufgelötet, so dass die doppelt liegende Metallnetz-Schicht vom Aktor wegweist.. Auf die aufgelöteten
25 Außenelektroden 26, 27 werden in der Nähe einer Aktorstirnfläche zwei Lötunkte 18 für die Anschlussdrähte 6 aufgebracht. Die Lötzeit beträgt 10 Minuten bei 240 °C.

Beispiel 4: Nach Fig. 6, das Ausführungsbeispiel 2 nach Fig. 4 entspricht, wird ein Drahtgewebe 19 aus einer Eisen-Nickel-Legierung (FeNi42) mit Drahtdurchmesser 0,08 mm und Maschenweite 0,18 mm galvanisch 6 µm dick mit Kupfer und 20 µm dick mit Lot (SnPb10) beschichtet. Aus dem Gewebe wird
5 in einem Winkel von 45° zur Richtung der Kettfäden ein 8 mm und 29 mm langer breiter Streifen herausgeschnitten. Auf diesen Streifen wird mittig ein Streifen mit den Abmessungen 3,5 x 29 mm aus Polyimid Polymer 22 gelegt. Um diesen wird der Gewebestreifen längs so gefaltet, dass die beiden Ränder mittig zu liegen kommen. Auf entstandene Außenelektrode 23, 24 wird ein Metallstift 28 mit 0,8
10 mm Durchmesser ca. 5 mm überlappend mittels Widerstandsschweißen aufgeschweißt, so dass der Stift 28 einseitig über das Drahtnetz 19 übersteht.

Bei dieser Ausführung ist der angepasste Temperatúrausdehnungskoeffizient des Netzmaterials und der bereits vorgeformte Anschlussstift von Vorteil.

Außenelektroden dieser beschriebenen Art werden auf die Grundmetallisierung
15 des Aktorgrundkörpers z. B. mit einem Reflowlötverfahren aufgelötet. Die Lötzeit beträgt 10 Minuten bei 240 °C.

Die vier Varianten werden mit einem geeigneten Verfahren mit Silikonlack überzogen, z.B. durch Tauchen oder Sprühen.

Nach dem Trocknen und Aushärten des Lackes wird von den Lötunkten der
20 Varianten 1 bis 3 der Lack wieder entfernt und ein Anschlussdraht angelötet.

Die Aktoren werden in Prüfraumen mit 2000 N vorgespannt und mit einem Trapezsignal angesteuert. Dabei wird die Ansteuerspannung in 100 µs von 0 V auf 200 V angehoben, 1 ms auf 200 V gehalten, und dann in 100 µs auf 0 V abgesenkt. Die Wiederholfrequenz ist 200 Hz. Die Aktoren erreichen dabei
25 Betriebstemperaturen von 150 - 160 °C.

- 11 -

Das Beispiel 1 zeigt bereits bei 10^7 Zyklen deutliche Ablösung der Netzelektrode von der Keramik im Bereich der Lötunkte. Nach $2 \cdot 10^7$ Zyklen ist der Aktor durch Lichtbogenbildung an der Lötunkten zerstört.

Die Beispiele 2 bis 4 zeigen identisches Verhalten, das sich von Beispiel 1
5 deutlich unterscheidet. Selbst bei 10^8 Zyklen tritt bei keinem der Beispiele Netzablösung oder Lichtbogenbildung auf.

Bei der Herstellung erfindungsgemäßer Außenelektroden sind für den Fachmann
verschiedene Wege offensichtlich. So kann man die Außenelektroden zum
Beispiel aus dünnem, mit Kunststoff beschichtetem Blech falten, oder wie
beschrieben, Metallnetz um Kunststoffstreifen falten. Auch die Herstellung analog
10 einer Leiterplatte, indem man Kunststoff- und Metallschichten
aufeinanderlaminiert und elektrisch durchkontaktiert ist möglich. Diese
Leiterplatte kann z.B. auch als vorgeformtes Flexboard den gesamten Aktor
umhüllen und schützen. Die zu verwendenden Werkstoffe sind im wesentlichen
15 von den gewünschten Einsatzbedingungen abhängig. Für hohe Temperaturen
und rasche Temperaturwechsel eignen sich insbesondere PTFE- und Polyimid-
Werkstoffe und Ausdehnungslegierungen wie FeNi42.

Patentansprüche

1. Außenelektrode an einem piezokeramischen Vielschichtaktor, dadurch gekennzeichnet, dass die Außenelektrode aus abwechselnd übereinander angeordneten Schichten leitender und nicht leitender Werkstoffe besteht,
5 dass von den beiden außen liegenden Schichten aus leitenden Werkstoffen die eine mit der Grundmetallisierung des Aktors verbunden ist und die andere mit der Zuleitung für die Spannung und dass die Schichten aus den leitenden Werkstoffen leitend miteinander verbunden sind.
- 10 2. Außenelektrode nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass sie aus mindestens zwei Lagen eines leitenden Werkstoffs und einer dazwischen angeordneten Lage eines nicht leitenden Werkstoffs besteht.
3. Außenelektrode nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Schichten leitender Werkstoffe jeweils aus einer Folie aus Metall bestehen.
- 15 4. Außenelektrode nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Folie eine Dicke von etwa 30 μm bis zu etwa 200 μm , vorzugsweise zwischen 50 μm und 100 μm , hat.
- 20 5. Außenelektrode nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Folie eine räumliche Strukturierung aufweist und dass dadurch die Schicht die bis zur dreifachen Dicke der Folie erreichen kann.
6. Außenelektrode nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Schichten leitender Werkstoffe in sich dreidimensional strukturiert sind.
- 25 7. Außenelektrode nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Schichten leitender Werkstoffe aus Metallgewebe oder -gewirk, aus einem Netz oder aus Metallschaum bestehen.

- 13 -

8. Außenelektrode nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Gewebe, Gewirke oder Netze eine Dicke von etwa 100 µm bis zu 200 µm haben.
- 5 9. Außenelektrode nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Maschenweite der Gewirke oder Netze zwischen etwa 100 µm und 200 µm liegen und die Drahtdurchmesser zwischen etwa 50 µm und 100 µm.
- 10 10. Außenelektrode nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass der nicht leitende Werkstoff ein elastischer Kunststoff ist, vorzugsweise ein thermoplastischer Kunststoff wie Polytetrafluorethylen (PTFE) oder Polyimid.
11. Außenelektrode nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Kunststoff aus Folien besteht mit einer Dicke von etwa 10 µm bis zu etwa 100 µm.
- 15 12. Außenelektrode nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Schicht des leitenden Werkstoff mit dem nicht leitenden Werkstoff beschichtet ist.
13. Außenelektrode nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die einzelnen Schichten der leitenden Werkstoffe aus unterschiedlichen metallischen Werkstoffen bestehen.
- 20 14. Außenelektrode nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass der metallische Werkstoff mindestens der Schicht, die auf den Aktivwerkstoff gelötet ist, einen dem keramischen Werkstoff des Aktors angepassten Wärmeausdehnungskoeffizienten besitzt.
- 25 15. Außenelektrode nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die leitende Verbindung zwischen den Schichten aus

den metallischen Werkstoffen mittels Durchkontaktieren oder Umkontaktieren hergestellt ist.

- 5 16. Außenelektrode nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Schichten aus den leitenden Werkstoffen jeweils an ihren Längsseiten miteinander verbunden sind.
17. Außenelektrode nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass der leitende Werkstoff mäanderförmig gefaltet ist und dass der nicht leitende Werkstoff jeweils zwischen zwei übereinanderliegenden Lagen des leitenden Werkstoffs angeordnet ist.
- 10 18. Außenelektrode nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Folie aus dem leitenden Werkstoff C-förmig gebogen ist, dass sie die Lage des nicht leitenden Werkstoffs umschließt und dass die umgebogenen Seiten mit der Grundmetallisierung des Aktors verbunden sind.
- 15 19. Außenelektrode nach einem der Ansprüche 1 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass sie durch Zusammenlaminiere der Schichten aus den metallischen Werkstoffen und den nicht metallischen Werkstoffen hergestellt ist.
- 20 20. Außenelektrode nach einem der Ansprüche 1 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass der metallische Werkstoff aus einer Kupfer- oder Silber-Legierung besteht.
21. Außenelektrode nach einem der Ansprüche 1 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass der metallische Werkstoff aus einer Eisen-Nickel-Legierung oder einer Eisen-Nickel-Cobalt-Legierung besteht.

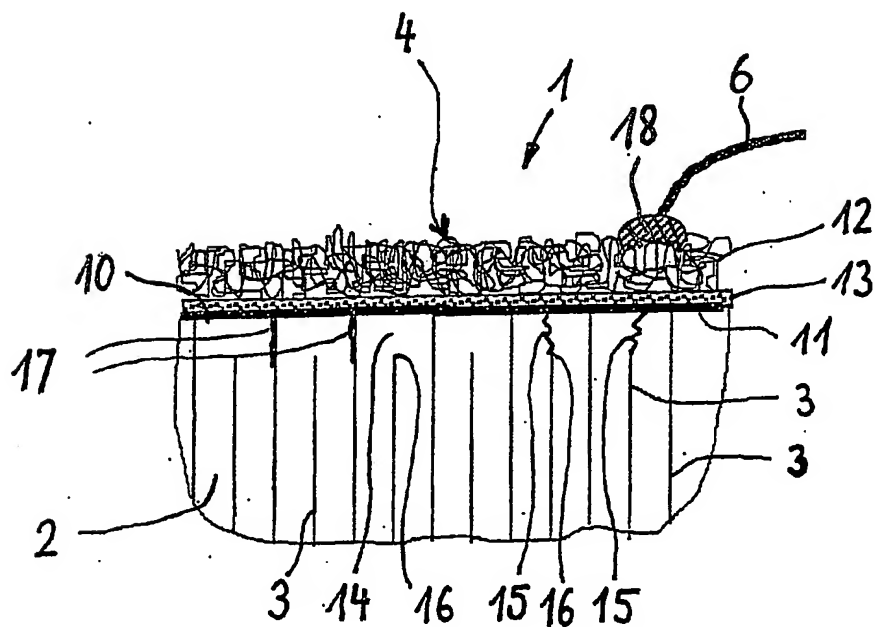
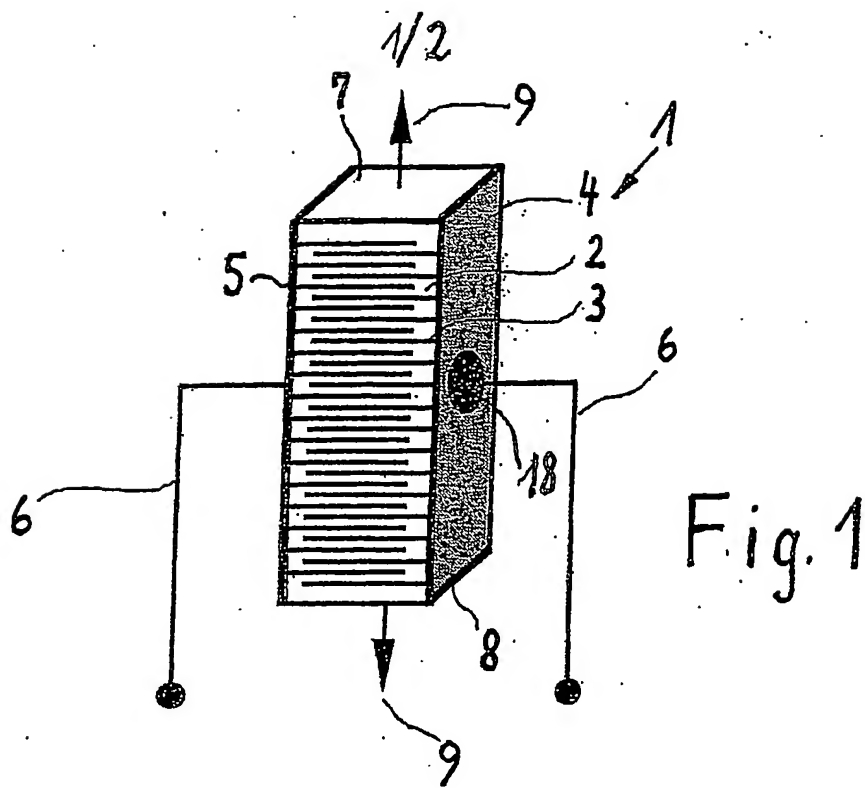
- 15 -

22. Außenelektrode nach einem der Ansprüche 1 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass sie durch Anlöten oder durch Ankleben mit einem leitfähigen Klebstoff mit der Grundmetallisierung des Aktors verbunden ist.

Zusammenfassung

Bei Außenelektroden an piezokeramischen Vielschichtaktoren wirken während des Betriebs starke Zugspannungen auf den Isolierbereich unter der Grundmetallisierung. Zu Problemen führt der Anschluß einer leitenden
5 Verbindung an die Außenelektrode, über welche die elektrische Spannung zugeführt werden soll. Durch das Löten oder eine Schweißung wird die Außenelektrode versteift und verliert somit am Löt- oder Schweißpunkt die Elastizität. Im Betrieb treten dann unterhalb dieser Löt- oder Schweißpunkte mechanische Scherspannungen auf, da sich der darüber liegende
10 Elektrodenbereich nicht mehr mit ausdehnt. Dies führt nach einigen Millionen Betriebszyklen zum Ablösen der Außenelektrode samt Grundmetallisierung und dadurch zum Ausfall des Bauteils.

Erfindungsgemäß wird deshalb vorgeschlagen, dass die Außenelektrode aus abwechselnd übereinander angeordneten Schichten leitender und nicht leitender
15 Werkstoffe besteht, dass von den beiden außen liegenden Schichten aus leitenden Werkstoffen die eine mit der Grundmetallisierung des Aktors verbunden ist und die andere mit der Zuleitung für die Spannung und dass die Schichten aus den leitenden Werkstoffen leitend miteinander verbunden sind.



2/2

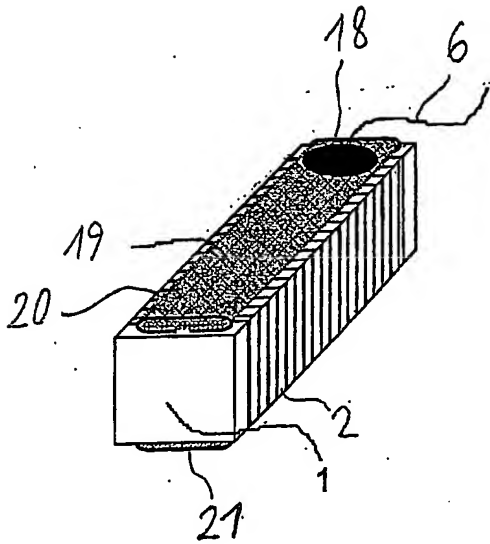


Fig. 3

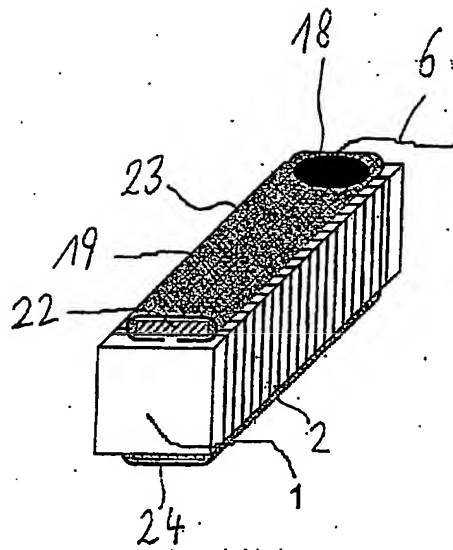


Fig. 4

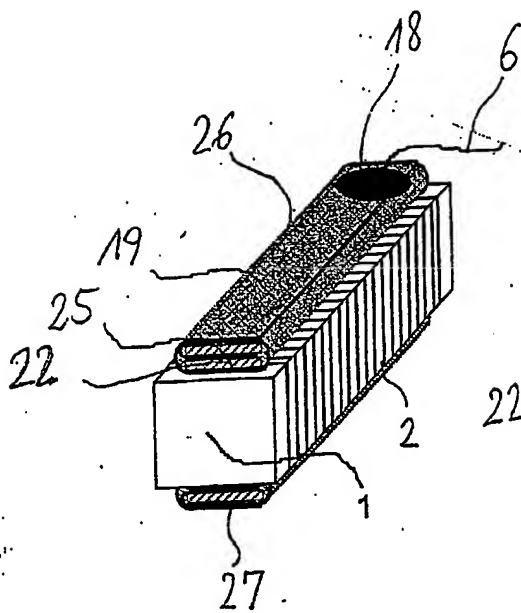


Fig. 5

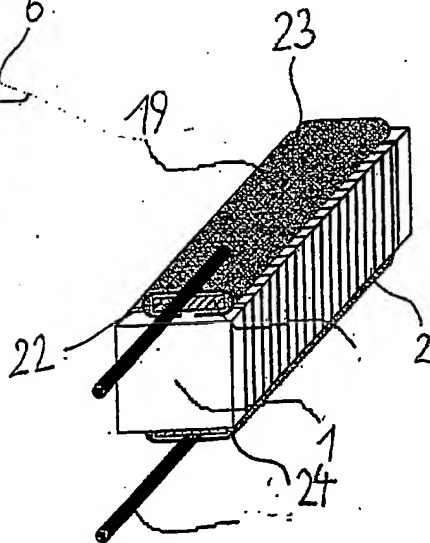


Fig. 6

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ BLACK BORDERS

☒ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

☐ FADED TEXT OR DRAWING

☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

☐ SKEWED/SLANTED IMAGES

☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

☐ GRAY SCALE DOCUMENTS

☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.